

# ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТЕПЕНИ ВЛИЯНИЯ МАТЕРИАЛА ЗАГОТОВКИ НА ЭНЕРГОСИЛОВЫЕ ПАРАМЕТРЫ ПРОЦЕССА ВОЛОЧЕНИЯ ПРОФИЛЬНЫХ ТРУБ И НА ГЕОМЕТРИЮ ПОЛУЧАЕМОЙ ПРОДУКЦИИ

## THE DETERMINATION OF THE DEGREE OF INFLUENCE OF THE WORKPIECE MATERIAL ON THE ENERGY-POWER PARAMETERS OF THE SHAPED TUBES DRAWING PROCESS AND ON THE GEOMETRY OF THE MANUFACTURED PRODUCT

Р.А. Окулов, аспирант

С.В. Паршин, научный руководитель, проф., д.т.н.

ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», Россия, г. Екатеринбург, индекс 620000.

E-mail: okulov.roman@gmail.com, т.: 89506316069.

### Abstract

*The work was cover the study of influence strength property of material on geometric and energy-power parameters of shaped tube drawing. The object of study was process terms of cold sinking drawing of hexahedral shape tube from three topics: commercially pure titanium, steel C 10 and copper. The study was curries out with help software for finite element method and was confirmed practical experiment. The results of theoretical and practical part very much agree.*

В трубной производстве, важным является определение, еще на стадии проектирования, влияния различных параметров на форму получаемой продукции. Кроме того, требуется установить какое воздействие оказывает параметр на сам процесс, его энергосиловые характеристики. Не смотря на развитие техники и технологий, и также на то, что до настоящего времени множество ученых проделали большое количество обширных исследовательских работ, начиная от работ изучающих основы теории обработки металлов давлением [1] и заканчивая работами погруженных в проблемы определения поведения процесса волочения профильной трубной продукции [2], до сих пор остается актуальным поиск ответов на вопрос о влияния различных параметров на процесс и качество продукции. Предшественникам не удалось в полной мере найти ответы существующие вопросы.

В данной работе ставится актуальная задача – определить как зависит форма трубы и энергосиловые характеристики самого процесса производства при волочении профильных труб от прочностных характеристик материала. Ответ на этот вопрос позволить дать ценные рекомендации производителям данной продукции и поможет избежать ряд нежелательных последствий.

Исследование роли материала выполнили с использованием программного обеспечения с целью определения искомых величин. Для

определения интересующих параметров труб воспользовались программным пакетом DEFORM-3D, который использует в процессе расчета конечно элементные модели [3].

Определим влияние материала заготовки на форму получаемых труб и на процесс волочения. Найдем зависимости геометрических параметров обработанной труб и энергосиловые параметры волочения от механических характеристик различных металлов из которых изготовлена заготовка.

Искомые параметры условно делятся на две группы: связанные с геометрией конечного продукта и связанные с энергосиловыми показателями самой операции производства. Среди геометрических параметров исследовали толщины стенки в центре грани, наружный прогиб граней, площадь поперечного сечения после обработки, вытяжку, наружный и внутренний радиусы незаполнения. Исследуемые геометрические параметры представлены на рисунке 1. Среди энергосиловых параметров процесса изучили усилие волочения, работу усилия волочения, единицу массы смещаемого материала, энергоемкость волочения. Выбрали три материала с различными механическими характеристиками. Самый прочный из них – технически чистый титан марки ВТ1-0, менее прочный – углеродистая сталь 10, и самый мягкий – медь М2.

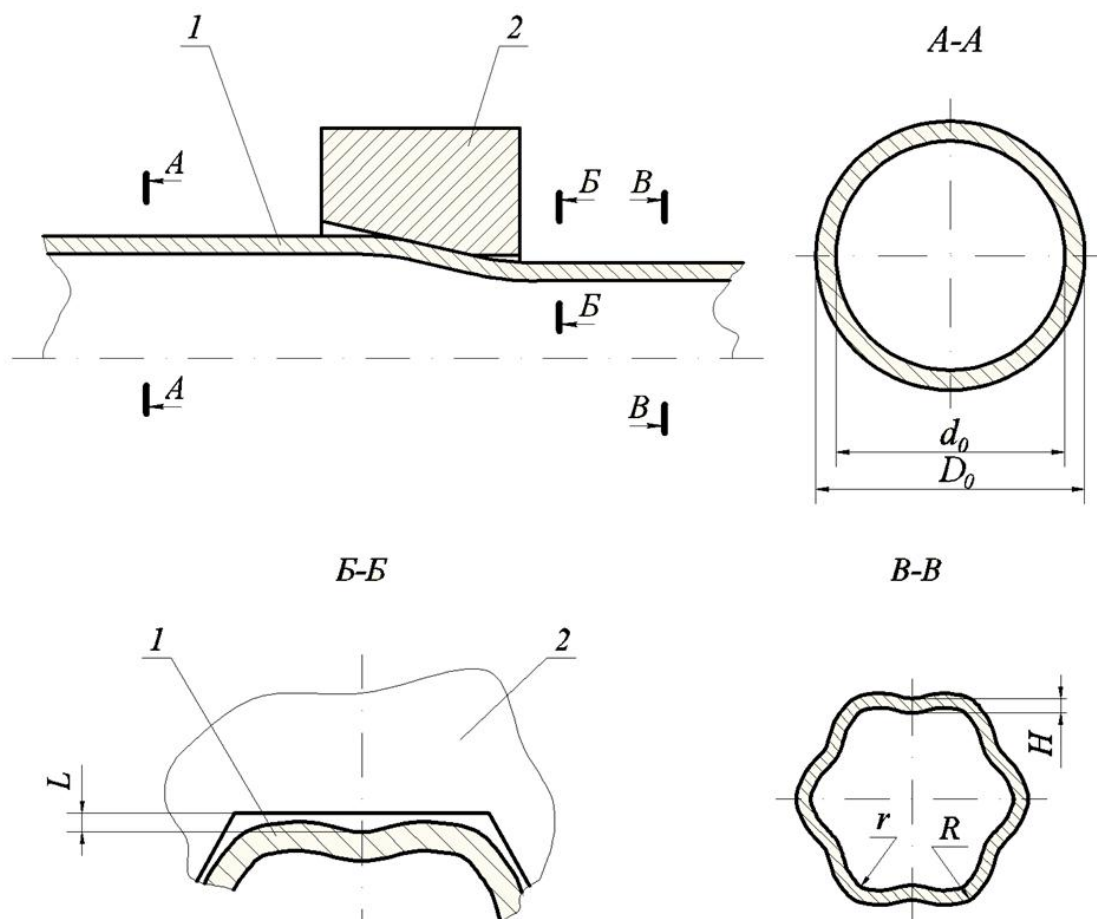


Рис. 1 – схема процесса профилирования трубы  
1 – обрабатываемая труба; 2 – волочильная фильера.

$D_0$ ,  $d_0$  – наружный и внутренний диаметры заготовки;  $L$  – наружный прогиб грани трубы;  $H$  – толщина стенки грани;  $R$ ,  $r$  – наружный и внутренний радиусы незаполнения.

За исследуемый процесс обработки приняли холодное безоправочное волочение профильной трубы из заготовки круглого сечения. После обработке поперечное сечение трубы принимает форму шестигранника с размером «под ключ» 14 мм (диаметр вписанной окружности шестигранника). Скорость волочения 100 мм/с. Волочение производилось без противонапряжения. Заготовка представляет собой круглую бесшовную холоднодеформированную трубу, наружным диаметром  $D$  18 мм, толщиной стенки  $S$  2 мм.

Для получения интересующего профиля трубы, заготовку круглого сечения протягивали в один переход через рабочий инструмент. Рабочий инструмент представляет собой волочильную фильеру с обжимным участком, в виде усеченной пирамиды. Угол наклона рабочей поверхности волоки составляет  $12^\circ$ , радиус скругления перехода от рабочего участка волоки к калибрующему участку составляет 0,5 мм, величина калибрующего участка равна 14,2 мм. Размер элемента сетки разбиения равняется 0,14 мм.

Закон упрочнения для изучаемых материалов задается формулой [4]

$$\sigma = \sigma_{0,2} + g \Lambda^b,$$

где  $\sigma_{0,2}$  – условный предел текучести;  $g$  и  $b$  – эмпирические коэффициенты.

Для титана ВТ1-0  $\sigma_{0,2} = 553,3$  МПа;  $g = 421$  МПа и  $b = 0,519$ ;

Для стали 10 приняли  $\sigma_{0,2} = 280$  МПа;  $g = 261,3$  МПа и  $b = 0,632$ ;

Для меди М2 приняли  $\sigma_{0,2} = 73,55$  МПа;  $g = 54,92$  МПа и  $b = 0,41$ .

Изображение кривых упрочнения материалов представлены на рисунке 2.

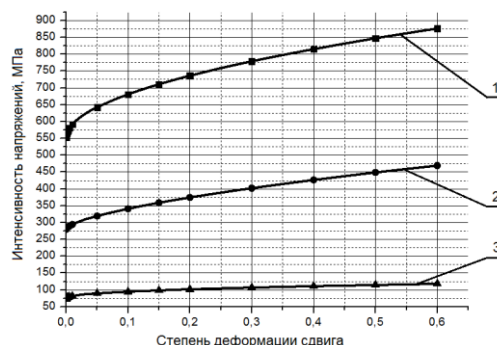


Рис. 2 – Диаграммы кривых упрочнения металла в области развитой пластической деформации. 1 – титан ВТ1-0, 2 – сталь 10, 3 – медь М2.

Трубы изготовлены из титана ВТ1-0 с техническими условиями по ГОСТ 22897, материал по ГОСТ 19807, из стали 10 в соответствии с техническими условиями по ГОСТ 8734, материал

по ГОСТ 8733, из меди М2 с техническими условиями по ГОСТ 617, материал по ГОСТ 859.

Для того чтобы можно было оценить влияние механических характеристик материала на исследуемые параметры, воспользовались варированием контактного трения. Зависимость от контактного трения прямая и линейная, как описано в работе [5]. Величина коэффициента трения зависит от типа применяемой на практике смазки. Коэффициент трения варьировался в диапазоне от 0 до 0,1 с шагом в 0,025.

Искомые параметры разделили на две группы: связанные с геометрией конечного продукта и связанные с энергосиловыми показателями самой операции производства.

Предметом исследования геометрических параметров формы труб, являлись:  $H$  – толщина стенки в центре грани, мм;  $L$  – наружный прогиб граней, мм;  $R$  – наружный радиус незаполнения, мм;  $r$  – внутренний радиус незаполнения, мм;  $S_a$  – площадь поперечного сечения после обработки, мм<sup>2</sup>;  $\mu$  – вытяжка, рассчитывается по формуле

$$\mu = \frac{S_0}{S_a},$$

где  $S_0$  – площадь поперечного сечения заготовки до обработки, мм<sup>2</sup>;

$$S_0 = (D_0^2 - d_0^2) \frac{\pi}{4},$$

Предметом исследования энергосиловых параметров процесса обработки труб, являлись:  $P$  – усилие волочения, Н;  $W$  – работа усилия волочения, Дж;  $m$  – единица массы смещаемого материала, кг;

$E$  – энергоёмкость процесса волочения, Дж/кг. Численное значение величины энергоёмкости определяют [6]

$$E = \frac{W}{m},$$

Работа усилия волочения определена как

$$W = Pl\mu,$$

где  $l$  – единица перемещения при устоявшемся процессе, м;

Единица массы смещаемого материала определена

$$m = (S_0 - S_a) l \rho,$$

где  $\rho$  – плотность обрабатываемого материала, кг/м<sup>3</sup>;

Для того чтобы результаты получаемые в результате проведения математического эксперимента были более точными, были найдены средние значения пяти параллельно проведенных экспериментов.

Результаты усреднены и на их основании построены зависимости на рисунках 3-6. На рисунке 3 представлена зависимость толщины стенки  $H$  от коэффициента трения  $k$ . Зависимость обратная – с ростом коэффициента трения  $k$  толщина стенки  $H$  уменьшается. Как видно из графика, что чем прочнее материал, тем меньше подвержена утонению стенка. Зависимость линейная и описана линейной функцией уравнением

$$y = a + bx \quad (1)$$

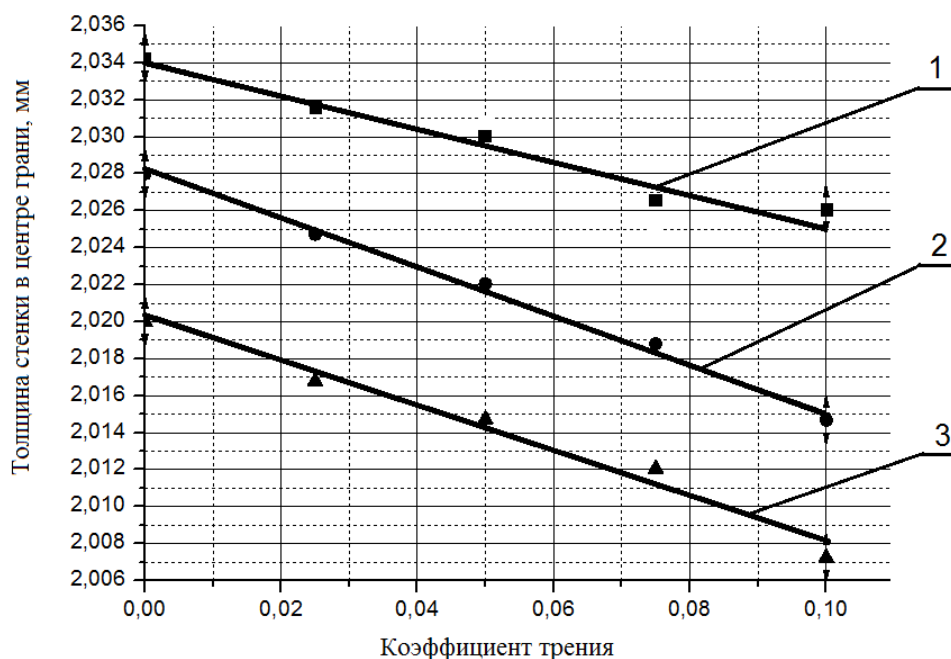


Рис. 3 – Изменение толщины стенки. 1 – титан ВТ1-0, 2 – сталь 10, 3 – медь М2

На наружный прогиб стенки трубы в центре грани  $L$  материал фактически не влияет. Величина прогиба  $L$  постоянна и составляет 0,2мм. Зависимость также линейная и описывается

формулой (1), наклон графика к оси абсцисс стремиться к нулю.

Площадь поперечного сечения после обработки  $S_a$  уменьшается по линейной зависимости и может быть также описана

формулой (1). Чем мягче материал, тем более он подвержен вытяжки, что изображено на рисунке 4. Зависимость вытяжки  $\mu$  обладает прямой линейной зависимостью и описывается формулой (1).

Зависимости наружного  $R$  и внутреннего  $r$  радиусов незаполнения с ростом коэффициента трения  $k$  имеют тенденции к увеличению. У материала обладающего большей прочностью, значения наружного и внутреннего радиусов незаполнения выше.

С ростом коэффициента трения  $k$  усилие волочения  $P$  возрастает по прямой линейной зависимости, следовательно, аналогичная зависимость работы усилия волочения  $W$ . Зависимости описываются формулой (1). Как видно из рисунка 5, на обработку более мягкого материала требуется меньше усилий и поэтому зависимость у меди находится ниже, у титана выше.

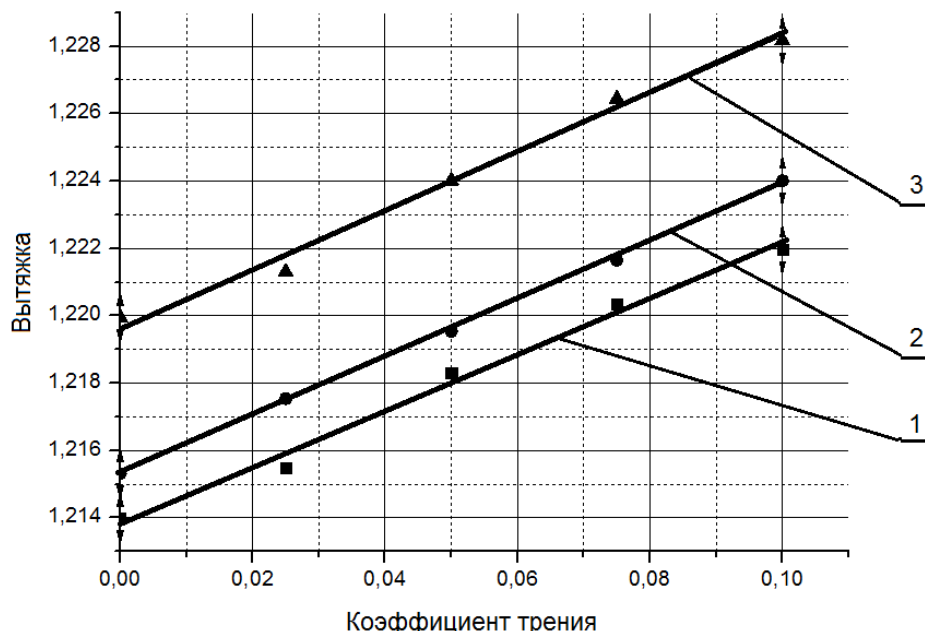


Рис. 4 – Зависимость вытяжки. 1 – титан BT1-0, 2 – сталь 10, 3 – медь M2.

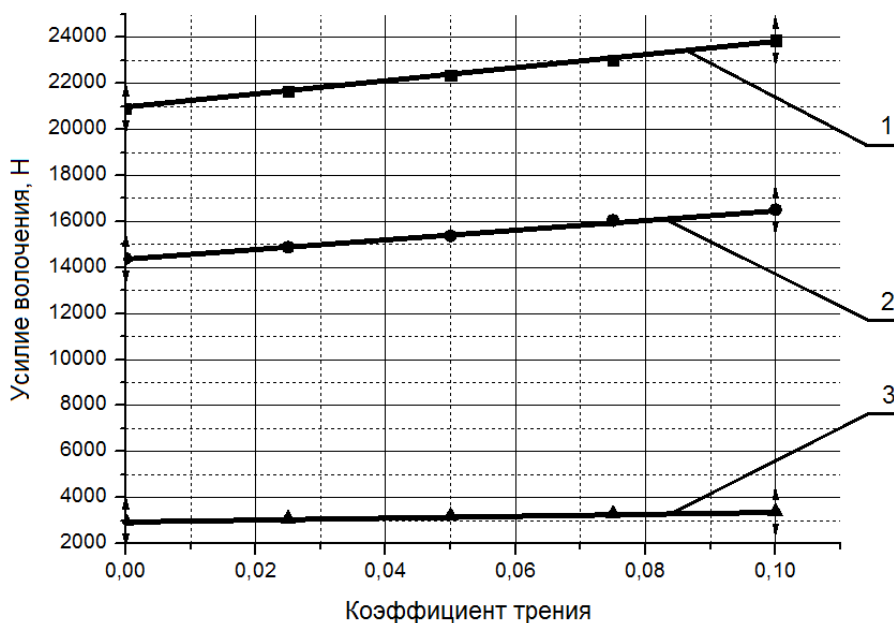


Рис. 5 – Зависимость усилия волочения. 1 – титан BT1-0, 2 – сталь 10, 3 – медь M2

Смещаемая масса на погонный метр  $m$  увеличивается с ростом коэффициента трения  $k$  по линейной зависимости, которая может быть также описана формулой (1).

Энергоемкость процесса на погонный метр  $E$  с ростом коэффициента трения  $k$  возрастает по

прямой линейной зависимости, описываемой формулой (1). График представлен на рисунке 6, из которого видно, что на обработку меди требуется затратить меньше энергии, чем на сталь и тем более титан.

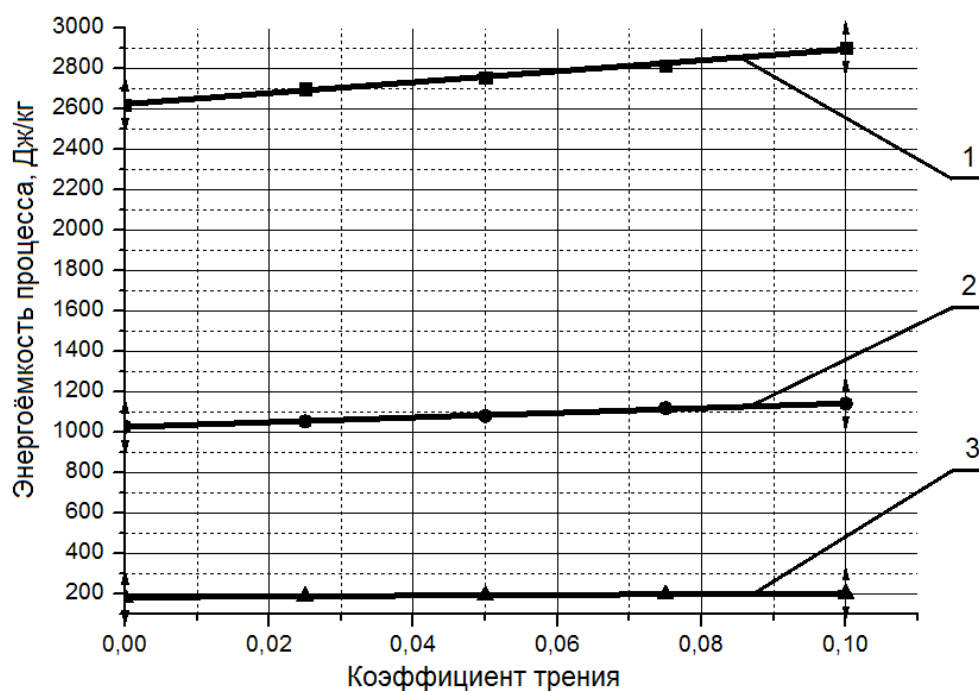


Рис. 6 – Зависимость энергоемкости. 1 – титан ВТ1-0, 2 – сталь 10, 3 – медь М2  
Коэффициенты  $a$  и  $b$  формулы (1) по результатам исследования представлены в таблице 1.

Таблица 1

Коэффициенты  $a$  и  $b$  формулы (1)

	$H$ , мм	$L$ , мм	$S_a$ , мм <sup>2</sup>	$\mu$	$R$ , мм	$r$ , мм	$P$ , кН	$W$ , кДж	$m$ , кг	$E$ , кДж/кг
Титан ВТ1-0										
$a$	2,02	0,207	82,82	1,214	2,93	1,47	20,92	25,39	9,68	2,62
$b$	-0,12	0,014	-5,65	0,083	0,32	0,13	28,95	37,12	3,78	2,7
Сталь 10										
$a$	2,028	0,205	82,72	1,215	2,89	1,44	14,36	17,45	17,01	1,03
$b$	-0,13	0,015	-5,81	0,086	0,32	0,13	21,57	27,63	6,79	1,17
Медь М2										
$a$	2,034	0,208	82,43	1,22	2,83	1,41	2,98	3,63	19,74	0,18
$b$	-0,09	0,022	-5,8	0,086	0,32	0,13	4,18	5,39	7,76	0,19

После теоретического эксперимента провели практический. За параметры исследуемого процесса приняли те же, что при постановке теоретического эксперимента. Волочили трубу из стали 10. Коэффициент трения был определен примененной смазкой. В качестве смазки использовали пастообразный пластично-смазывающую материал, в состав которого входили: технический вазелин (60%), мыло

хозяйственное (10%), графит (30%). Данная смазка обеспечивает в очаге деформации коэффициент трения по Амонтону-Кулону равный 0.1 [1].

В результате эксперимента были измерены геометрические параметры обработанной трубы и энергосиловые параметры процесса, а затем сравнены с результатами теоретической работы. Результаты сравнительного анализа представлены в таблице 2.

Таблица 2

Сравнение теоретических и практических данных

№ п/п	Параметр	Значение из эксперимента		Отклонение, %	
		Теоретич.	Практич.	Относит.	Абсолют.
1	$H$ , мм	2,01	2,04	1,49	98,5
2	$L$ , мм	0,2	0,2	0,99	99,02
3	$S$ , мм <sup>2</sup>	82,01	83,8	2,18	97,86
4	$\mu$	1,22	1,22	0,25	99,78

5	$R$ , мм	2,93	2,9	0,99	101
6	$r$ , мм	1,42	1,4	1,408	101,43
7	$P$ , Н	25722	27500	6,91	93,54
8	$W$ , Дж	31531	33550	6,4	93,98
9	$m$ , кг	17,84	17,42	2,35	102,41
10	$E$ , Дж/кг	1767	1926	8,99	91,75

Результаты теоретического и практического эксперимента сходятся в допустимых пределах отклонений. Таким образом, можно сделать вывод о том, что теоретическая часть исследования соответствует реальному процессу.

#### **Вывод**

В результате выполненной работы было установлено влияние применяемого материала на форму труб и энергосиловые параметры процесса. Было продемонстрировано, в какой степени оказывают влияние прочностные характеристики различных материалов, а затем сравнены друг с другом. Изучены три материала: более мягкий – медь М2, сталь 10, обладающая средней прочностной характеристикой и самый прочный – титан ВТ1-0.

Проведена экспериментальная проверка математического эксперимента процесса волочения профильной трубы. Статистическая обработка результатов не выявила значимых различий в расчетных и экспериментальных данных.

В итоге исследования можно сделать вывод: прочностные характеристики материала влияют в значительной степени на энергосиловые параметры процесса, что касается геометрических параметров, то выбор применяемого материала не оказывает существенного влияния.

#### **Список литературы**

1. Теория волочения. Перлин И.Л., Ерманок М.З. Изд-во «Металлургия», Москва, 1971, 2-е изд., с. 448;
2. Производство профильных труб. Данченко В.Н., Сергеев В.В., Никулин Э.В. М.: Интермет Инжиниринг, 2003, с 224;
3. Орлов Г.А., Вагапов Е.Н., Чернышов Д.Ю., Попов Д.А. Некоторые технологические возможности роликового волочения труб // Производство проката. 2012. №4. с. 28-31;
4. Ресурс пластичности металлов при обработке давлением. Богатов А.А., Мижирицкий О.И., Смирнов С.В. М.: Металлургия, 1984, с. 144;
5. Окулов Р.А., Паршин С.В., Спиридонов В.А. Влияние контактного трения на геометрические и энергосиловые параметры при волочении профильных труб // Производство проката. 2013. №1. с. 50, 53;
6. Окулов Р.А., Паршин В.С., Карамышев А.П. Энергоемкость обработки заклепочной проволоки из дюралюминия волочением и радиальным обжатием // Вестник машиностроения. 2012. №9. с. 80, 81.